

MEC386 – Energías Renovables No Convencionales

Profesor: Dr. Ing. Alex Flores Maradiaga

Laboratorio “Medición de Torque y RPM de Turbina Eólica de Eje Vertical”

Introducción:

Entre todas las opciones de energías renovables no convencionales, la eólica es la que actualmente presenta un mayor porcentaje de la matriz energética mundial, habiendo entregado 3540 [TWh] el año 2019. Los países con mayor potencia eólica instalada para el año 2019 (ordenados de mayor a menor potencia instalada) incluyen a China, EE. UU., Alemania, India, España, Reino Unido, Francia, Brasil y Canadá.

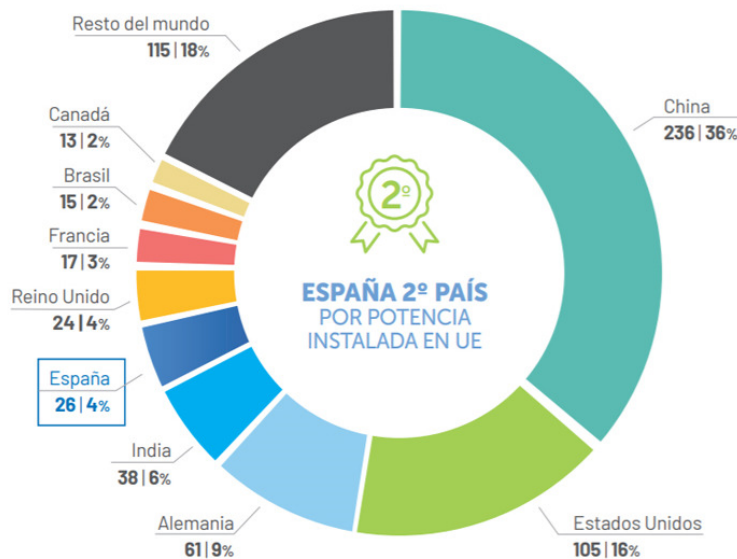


Figura 1, Capacidad de generación eólica instalada en 2019 en GW y porcentaje global.
Extraída de <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo>

Existen dos grandes categorías de aerogeneradores de acuerdo con su capacidad de producción: están las grandes turbinas de viento, instaladas usualmente en granjas eólicas con rangos de potencia desde 500 [kW] hasta 14 [MW] por turbina, que pueden alimentar directamente la matriz energética interconectada del país donde estén instaladas. Y también están las pequeñas turbinas (llamadas *Small Wind* o *Micro Wind*), que abarcan desde potencias menores de 1 [kW] hasta 250 [kW], utilizadas en aplicaciones agrícolas, domésticas, incluso industriales; dentro de ciudades, o en zonas rurales en donde no llegan las redes eléctricas.

Evidentemente, las grandes y pequeñas turbinas, a pesar de que funcionan en base a los mismos principios físicos para generar energía, al trabajar en contextos diferentes, se enfrentan a diferentes desafíos. En el contexto urbano de *Small Wind*, debido a los obstáculos para el viento que representan árboles, casas y edificios, los equipos se ven enfrentados a flujos turbulentos, con direcciones erráticas y velocidades altamente variables. Frente a estas condiciones, las turbinas eólicas de eje vertical se presentan como opciones atractivas, debido a su mejor comportamiento frente a flujos turbulentos y multidireccionales, además de tener un menor impacto visual y acústico, los cuales se vuelven aspectos importantes al contemplar la instalación de equipos en entornos urbanos.

Un tipo de turbina de eje vertical son las turbinas Savonius, estas turbinas operan bajo el principio de arrastre (*drag*). Los diseños originales de los rotores Savonius, inventados por el ingeniero finlandés Sigurd J. Savonius a inicios del siglo XX, constaban de dos palas verticales con un perfil curvado. Visto desde arriba, los álabes forman una silueta de “S”. Como una variación de diseño, entre las palas se puede permitir un espaciado (o superposición) que puede hacer variar su comportamiento aerodinámico. A continuación, en la figura 2, se presentan diagramas con líneas de flujo

dibujadas a través de dos rotores Savonius bipala, uno con las palas pegadas y otro con espaciado entre las palas, donde se pueden apreciar líneas de flujo que se devuelven (fenómeno de reflujo):

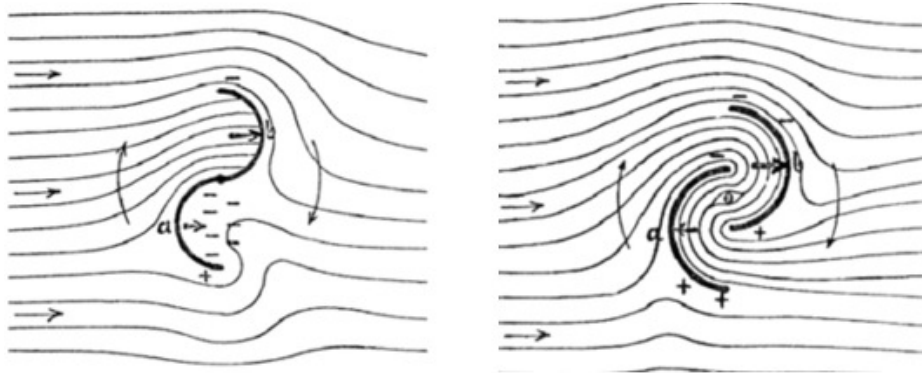


Figura 2, Diagramas de flujo a través de rotores Savonius, sin espaciado entre las palas y con espaciado entre las palas.

Las formas cóncavas presentan un mayor arrastre aerodinámico que las convexas, entonces al enfrentarse el rotor con un flujo uniforme de aire se genera un torque asimétrico, el cual es el responsable del movimiento rotatorio.

Objetivos:

El presente ensayo se realizará en el Laboratorio de Energías Renovables del Departamento de Ingeniería Mecánica, con el objetivo principal de observar y caracterizar la operación de una turbina eólica de eje vertical de tipo Savonius.

Se definen los siguientes objetivos específicos para dicha actividad:

- Identificar las principales variables que afectan el rendimiento de las turbinas eólicas y los instrumentos para su medición: Condiciones atmosféricas ambientales, velocidad de viento incidente, torque y velocidad de giro
- Obtener las curvas características de una turbina eólica, identificando las variables necesarias a medir, la obtención de puntos de operación y el procedimiento de obtención de las curvas de Potencia v/s Velocidad lineal del viento y Coeficiente de potencia (C_p) v/s Velocidad específica (TSR). Comprender el significado físico de cada una de las variables implicadas.

Metodología:

1. Introducción práctica en la que se identifican los instrumentos de medición y su calibración.
2. Se verifica el funcionamiento del SETE y se definen las velocidades de viento a ensayar.
3. Obtener los puntos de operación, aplicando una carga a la turbina utilizando el freno dinamométrico, desde el giro libre (carga mínima) hasta la detención total del rotor.
4. Medir las variables de análisis con los instrumentos
 - a. Velocidad de viento incidente.
 - b. Torque.
 - c. Velocidad de giro del rotor.

Análisis:

Para un análisis de la “eficiencia” de una turbina eólica se realiza un cálculo de la energía cinética y potencia disponibles en el viento, que dependen de la velocidad (U) y densidad del flujo (ρ), así como del área transversal atravesada por el flujo (A) de la siguiente manera:

$$P_w = \frac{\rho * A * U^3}{2}$$

Entendiendo que es físicamente imposible que una máquina pueda extraer la totalidad de esta energía y transformarla en energía cinética rotacional, se define el coeficiente de potencia C_p como la razón entre la potencia extraída por la turbina y la potencia disponible en el viento.

$$C_p = \frac{P_{Turbina}}{P_w}$$

Donde la Potencia de la turbina, al igual que la de cualquier otra máquina rotodinámica, se puede determinar como el producto de la velocidad de rotación de ésta y el torque que esta ejerce.

$$P_{Turbina} = Torque * rpm$$

Adicionalmente, para facilitar la comparación entre la operación de diferentes tipos de turbinas eólicas es que se define la magnitud adimensional de velocidad específica (*Tip Speed Ratio* o TSR) como la razón entre la velocidad de la punta de las aspas del rotor con la velocidad del viento incidente:

$$TSR = \frac{\omega R}{U} = \frac{2\pi N * R}{U}$$

La curva característica de la turbina relaciona el TSR como variable independiente, con el C_p como variable dependiente.

Se solicita lo siguiente:

1. Con los datos de Torque y rpm, calcular la potencia mecánica generada por la turbina y graficar las curvas de Torque según RPM y Potencia según Velocidad lineal del viento.
2. Calcular C_p y TSR y graficar la curva característica de la turbina ensayada.
3. Determinar puntos de operación óptimos para la turbina ensayada.